はじめに

本講座は，東大合格にむけて，実践的な解答力の強化を目指した講座です。

東大生物は大問３題から構成されていますが，一つの大問には複数の分野の内容が含まれ，実質的には大問数以上の広がりをもった，ボリュームのある総合問題となっています。リード文中では，受験生にとっては初見となる実験や資料が必ず提示され，図や表を含む実験結果を積極的に解釈させる考察問題が中心となります。それらを鑑みると，75 分という時間内で的確な解答を仕上げていくのは容易なことではありません。

合格のために必要なものは，未知のデータ・図表を読み込み，それを説明する整合性のとれたモデルを立て，その内容を的確に表現する能力です。“生物は暗記”と割り切った学習をしてきた受験生にとってはかなり難問に映りますが，日ごろから意識して考察論述を鍛錬してきた受験生にとっては安定した得点を期待できる科目とも言えるでしょう。

テキストの問題は，あらかじめ予習の段階で一通り解いておきましょう。問題にはすでに目を通してある前提で解説を進めていきますので，問題が解けなかったときこそ問題文をもう一度熟読した上で，講義に入るようにしてください。

今，これを読んでいる君たちのほとんどは受験生であると思います。その受験生としての日々を，長く孤独な戦いであると感じている人もいるでしょう。しかし，これほど純粋でフェアな競争もそうはありません。これまでのことは関係なく，君の素養と努力が直接問われています。そのチャレンジしている自分，成長していく自分にワクワクしてください。この過程で得た苦労も喜びも全て君のものです。

君のその努力は，君の合格する確率を確実に上げてくれます。どうぞ，安心して力いっぱい励んでください。

牧島　央武

目　次

第１講　細胞周期の調節 …… p.4

第２講　ゲノム刷り込み …… p.12

第３講　メダカの性決定 …… p.18

第４講　選択的スプライシング …… p.22

第５講　マラリア原虫の寄生 …… p.30

第６講　植物の環境応答 …… p.36

第７講　植物の光受容体 …… p.44

第８講　眼球運動の調節 …… p.50

第９講　気候変動による分布域の変化 …… p.56

第10講　頻度に依存した淘汰 …… p.62

※本テキストは，一部問題において東京大学の入試問題を改変して使用しております。
詳細は，テキストをご確認ください。

第１講　細胞周期の調節

次の文１から文３を読み，ⅠからⅢの各問に答えよ。

〔文１〕

(ア)生物において，DNA の遺伝情報は RNA に転写され，さらにタンパク質に翻訳される。また，遺伝情報は細胞増殖に伴って母細胞から娘細胞に伝えられる。細胞が増殖する際に，分裂した細胞が再び分裂を起こすまでの過程を細胞周期という。(イ)細胞周期は，細胞分裂が進行する M 期とそれ以外の間期に大別され，間期はさらに G1 期，G2 期，および S 期に区分される。細胞周期の S 期において染色体 DNA は忠実に複製されて倍加する。

実験１　増殖中のヒト培養細胞の集団から，その一部を採取し，DNA と結合すると蛍光を発する色素を用いて染色した。この方法を用いると個々の細胞内の DNA 量を蛍光強度として検出することができる。その結果，**図１－１**に示すようなグラフが得られた。

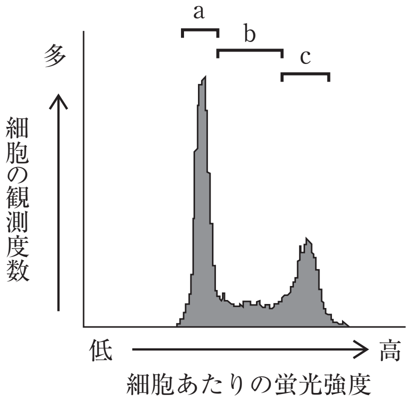

図１－１　細胞あたりの蛍光強度と細胞の観測度数の関係

〔文２〕

細胞周期が正しく進行するには，細胞周期の各段階がそれぞれ誤りなく完全に終了した後に，次の段階に移行する必要がある。たとえば，DNA 複製が完了する前に細胞分裂が始まると，生じる娘細胞は完全な染色体 DNA を引き継ぐことができず，結果として細胞増殖に重大な影響が出てしまう。このようなことが起こらないように，細胞は，細胞周期の各ステップが完全に終了したかどうか，異常が起きていないかどうかを確認する機構を有している。このような細胞周期監視機構の存在は，最も単純な真核生物の一種である出芽酵母（以後，酵母とよぶ）を用いた実験によって解明された。自然界で酵母は二倍体として存在するのみならず，染色体を一組のみもつ一倍体として生育することもできる。一倍体細胞では，各遺

伝子が細胞あたり一つずつ存在するため，遺伝子変異が起こると，その影響が直接，細胞の表現型として現れる。このような性質は，特定の機能をもつ遺伝子を同定するのに有用であることから，実験では主に一倍体の酵母が用いられている。

正常な酵母は，X 線照射によって染色体の 2 本鎖 DNA が切断されると，損傷部位と同じ配列をもつ DNA を利用して修復する。このような修復は，主に細胞周期の G2 期で起こることが知られているが，これは染色体の損傷を修復する際に DNA 複製によって生じたもう一組の染色体を利用するからである。一方，G1 期や M 期の酵母細胞は，X 線による DNA 損傷を修復することができず，そのほとんどが死滅してしまう。DNA 損傷に対する細胞応答の制御には，さまざまな遺伝子が関与することが知られているが，その多くが一倍体酵母細胞を用いた解析によって同定された。

実験２　盛んに増殖している酵母を寒天培地上に散布して X 線を照射し，その 10 時間後に，G2 期にある細胞の割合を定量的に計測した。また，X 線を照射してから 3 日後に，形成されたコロニー（生存した細胞が増殖してできた塊）数をカウントし，細胞の生存率を計測した。その結果，**表１－１**（上段）に示すように，正常な酵母細胞では，少量の X 線照射によって，G2 期にある細胞の割合が著しく増加し，最終的に 50％の細胞が生き残ることがわかった。また，多量の X 線を照射すると，G2 期にある細胞の割合がさらに増加した。一方，DNA 損傷を修復する酵素が完全に機能を失っている変異細胞 **A** や，未知の遺伝子に欠失がある変異細胞 **B** では，**表１－１**（中段，下段）に示す結果となった。

表１－１　X 線照射後の細胞周期分布および細胞生存率の変化

細胞	X 線照射量	X 線照射 10 時間後に G2 期にある細胞の割合（％）	X 線照射 3 日後に生存している細胞の割合（％）
正常細胞	なし	5	100
	少量	50	50
	多量	70	30
変異細胞 **A**	なし	10	100
	少量	**1**	**2**
変異細胞 **B**	なし	5	100
	少量	20	30
	多量	45	1

実験３　次に，紡錘体形成を阻害する特殊な薬剤で処理することによって細胞周期を人工的にG2期で停止させた酵母細胞（正常細胞および変異細胞Ｂ）にＸ線を照射し，その後直ちに薬剤を除去して培養を続けた。１～２時間おきに細胞を観察して，細胞周期が再び回り始めG2期から次の段階へ進んだ細胞の割合を調べたところ，**図１－２**のような結果が得られた。なお，酵母の細胞周期は１周期が約２時間である。

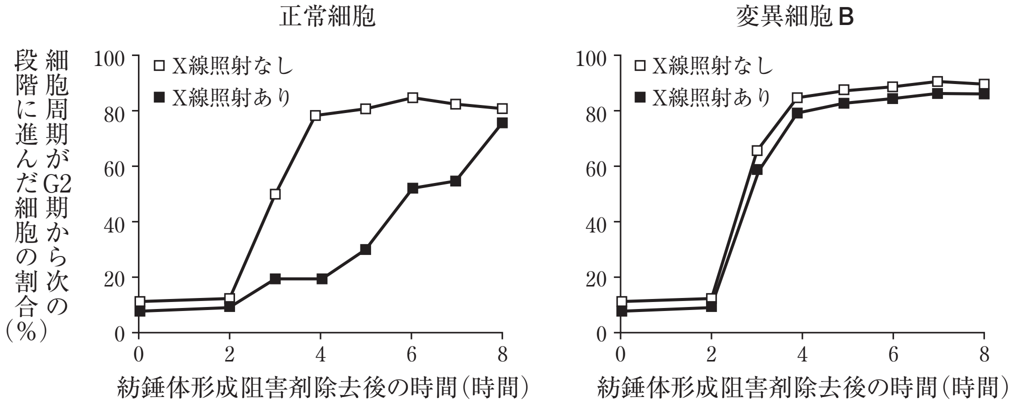

図１－２　紡錘体形成阻害剤除去後に細胞周期が進行した細胞の割合

Ｘ線を照射した細胞および未照射の細胞から得られたデータをそれぞれ■と□で示す。

〔文３〕

細胞内で，遺伝情報にもとづいて合成されるタンパク質の一部は酵素であり，増殖や分化，代謝など，多彩な細胞機能の調節に重要な役割を果たしている。酵素活性をもつタンパク質は，酵素として働く領域や，その活性を制御する領域など，異なる機能をもつ複数の領域から構成されているものが多い。人工的に遺伝子変異を導入して，タンパク質の特定の領域のみを欠失させることで，酵素タンパク質分子内の各領域が，どのような機能を有しているかを詳細に解析できる。

実験４　マウスの細胞内に存在するタンパク質Ｘは，５つの領域（a～e）から構成されるタンパク質分子であり（**図１－３**左上），分子内のどこかに酵素として働く領域をもっている。このタンパク質Ｘの酵素活性を調節するメカニズムを明らかにするため，細胞内でタンパク質Ｘと特異的に結合する分子を探索したところ，新たなタンパク質Ｙが得られた。タンパク質Ｙは，ふだんは細胞内にほとんど発現していないが，ホルモンＺで細胞を刺激すると，その発現量が著しく増加することがわかっている。そこで，タンパク質Ｙがタンパク質Ｘの酵素活性にどのような影響を与えるかを調べるため，以下の実験を行った。

まず，タンパク質Ｘおよびタンパク質Ｙを，バイオテクノロジーの手法を用いて大腸菌内で大量合成し，別々に精製した。得られた各タンパク質を試験管内に少量ずつ取り分

け，タンパク質Ｘのみが存在する状態，およびタンパク質Ｘとタンパク質Ｙの両方が存在する状態で，タンパク質Ｘの酵素活性を測定した。また同時に，タンパク質Ｘ分子内の５つの領域（a～e）をさまざまに欠失させた７種類のタンパク質（欠失型タンパク質Ⅰ～Ⅶ）を作製して，同様の実験を行ったところ，**図１－３**の棒グラフのような結果となった。ただし，反応に用いた各タンパク質の量や酵素活性の測定条件は同一である。また，タンパク質Ｘのａ～ｅ領域以外の部分に特別な機能はなく，タンパク質Ｙはタンパク質Ｘの酵素領域とは直接結合しないことがわかっている。

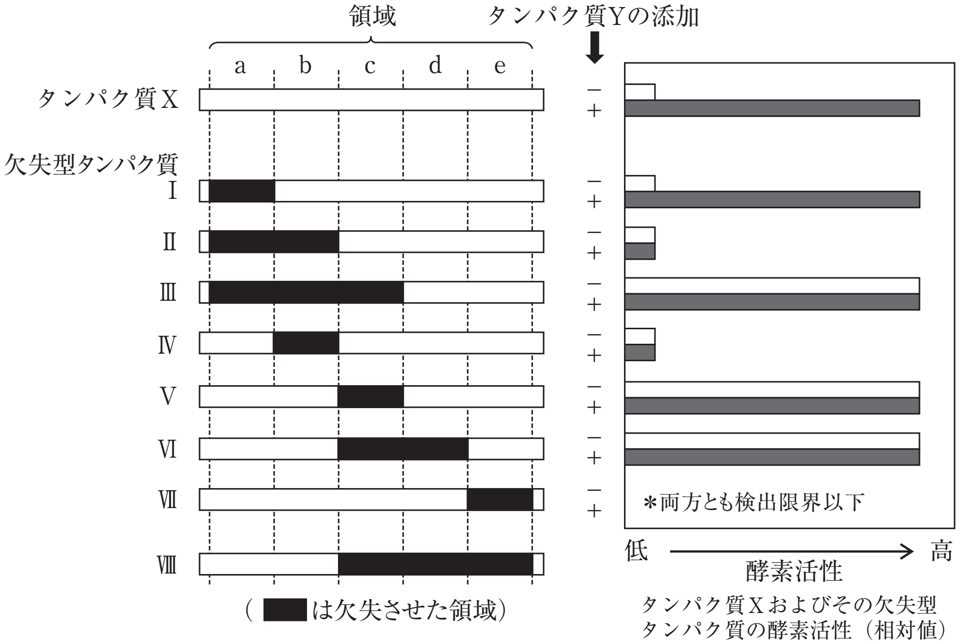

図１－３　タンパク質Xと各欠失型タンパク質の構造（左）およびタンパク質Y添加による酵素活性の変化（右）（「+」および「−」は,タンパク質Yの有無を示す）

〔問〕

Ⅰ　文１について，以下の小問に答えよ。

A　下線部(ア)について。以下の(1)～(4)の文章のうち，間違っているものをすべて選んで，その番号を記し，それぞれについて，どこが間違っているかを簡潔に説明せよ。

(1)　真核生物の核 DNA は，ヒストンとよばれるタンパク質に巻きついた状態で存在している。

(2)　原核生物の RNA ポリメラーゼはプロモーターに直接結合するが，真核生物の RNA ポリメラーゼは，プロモーター領域に結合し，転写する際に，基本転写因子を必要とする。

(3)　免疫グロブリンの多様性は，主として，免疫グロブリン遺伝子から転写される RNA が選択的スプライシングを受けることで生み出されている。

(4)　6 塩基対の配列を認識する制限酵素を用いて染色体 DNA を処理した場合，切断される塩基配列の出現頻度は，計算上，4096 塩基対に 1 回である。

B　下線部(イ)について。細胞周期の各期（G1，G2，S，M）の細胞は，**図１－１**に示す領域ａ～ｃのうち，どの領域に含まれるか。G1－○領域，G2－□領域，のように答えよ。

Ⅱ　文２について，以下の小問に答えよ。

C　**表１－１**の空欄**１**および空欄**２**に入る数字の組合せとして最も適切なものを以下の(1)～(8)から１つ選べ。

	1	2
(1)	5	5
(2)	5	20
(3)	20	20
(4)	20	80
(5)	50	50
(6)	50	80
(7)	80	5
(8)	80	50

D　X線照射後の細胞の生存率が，正常細胞と比較して変異細胞**B**で低下しているのはなぜか。**表１－１**および**図１－２**で示した実験結果をもとに考察し，3行（105字）程度で説明せよ。

E　変異細胞**B**で欠失している遺伝子が，DNA損傷修復酵素をコードする遺伝子ではないことを確認するために，どのような実験を行ったらよいか。紡錘体形成阻害剤を利用した実験を考案し，予測される結果とともに3行（105字）程度で説明せよ。

Ⅲ　文３について，以下の小問に答えよ。

F　タンパク質Ｘ分子内で酵素としての活性をもつのは，ａ～ｅのうち，どの領域であると考えられるか，記号で答えよ。

G　タンパク質Ｙは，タンパク質Ｘのどの領域に結合すると予想されるか，記号で答えよ。

H　タンパク質Ｘ分子内のｃ領域は，酵素活性の調節において，どのような役割を果たしていると推測されるか。最も適切なものを以下の⑴～⑹から１つ選べ。

⑴　タンパク質Ｘとタンパク質Ｙの結合を促進する。
⑵　タンパク質Ｘとタンパク質Ｙの結合を抑制する。
⑶　タンパク質Ｘの酵素活性を増強する。
⑷　タンパク質Ｘの酵素活性を抑制する。
⑸　タンパク質Ｘの立体構造を安定化する。
⑹　タンパク質Ｘの立体構造を不安定化する。

I　細胞をホルモンＺで刺激するとタンパク質Ｘの酵素活性は，どのように変化すると考えられるか。タンパク質Ｘ分子内の各領域による酵素活性の制御メカニズムを含めて，３行（105字）程度で説明せよ。

J　タンパク質Ｘと新たに作製した欠失型タンパク質Ⅷ（**図１－３**；c ／ d ／ e 領域を欠失しており，a ／ b 領域のみからなる）を試験管内で混合した後，タンパク質Ｙを加えて反応させた。このとき，欠失型タンパク質Ⅷを加えることによって，タンパク質Ｘの酵素活性にどのような影響が認められるか。次の考察の空欄**３**と空欄**４**に入る最も適切な語句を，以下の選択肢(1)〜(5)からそれぞれ１つ選んで番号で答えよ。ただし，同じ語句を２度用いてもよい。

考察：加えた欠失型タンパク質Ⅷの量が，タンパク質Ｘおよびタンパク質Ｙの量より十分に多いとき，反応液中のタンパク質Ｘの酵素活性は，欠失型タンパク質Ⅷが存在しない場合と比較して［　３　］。一方，タンパク質Ｙの量が，欠失型タンパク質Ⅷおよびタンパク質Ｘの量よりも十分に多いとき，反応液中のタンパク質Ｘの酵素活性は，欠失型タンパク質Ⅷが存在しない場合と比較して［　４　］。

選択肢：

(1)　高くなる　　　(2)　高くなった後，低くなる
(3)　低くなる　　　(4)　低くなった後，高くなる
(5)　同等である

テキスト解答

※本書に収録された解答・解説はスタディサプリが独自に作成したものです。

第１講

Ⅰ　A　(3)

説明…抗体可変部の多様性は，DNA 段階での遺伝子の再編成によって生じる。

B　G1−a 領域　G2−c 領域　S−b 領域　M−c 領域

Ⅱ　C　(7)

D　正常細胞が X 線照射で DNA に損傷を受けると，G2 期に留まることで DNA の修復を行うが，変異細胞 B では損傷を受けても細胞周期が G2 期で留まらず，修復できずに死滅してしまうため。

E　変異細胞 B に X 線照射後に紡錘体形成阻害剤を与え，G2 期で停止させる。そこから DNA の修復に十分な時間をおいた後に紡錘体形成阻害剤を除去した場合，X 線照射 3 日後の生存細胞数が増加することを確認する。

Ⅲ　F　e

G　b

H　(4)

I　ホルモン Z の刺激によってタンパク質 Y の発現量が増加し，タンパク質 Y はタンパク質 X の b 領域に結合する。これより c 領域による酵素活性の抑制が解除されるため，タンパク質 X の酵素活性が上昇する。

J　[3]　(3)　[4]　(5)